



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ

TECHNOLOGY CUTTING INTERNAL THREAD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DANIEL ŠPROCH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc.

BRNO 2011

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na výrobu vnitřních závitů metodami třískového obrábění. Úkolem je uvést a popsat nejpoužívanější závity a nejběžnější metody jejich výroby. Úvod je zaměřen na popis a rozbor jednotlivých druhů závitů, střední část se týká samotné výroby vnitřních závitů třískovým obráběním a na závěr obsahuje ekonomické náklady na výrobu jednotlivých závitů.

Klíčová slova

Vnitřní závit, obrábění vnitřních závitů, porovnání metod obrábění, výrobní náklady

ABSTRACT

This work is focused on the production methods of threading cutting. The challenge is to introduce and describe the most common threads and common methods for their production. The introduction is aimed at description and analysis of different types of threads, the middle part concerns the actual production of internal threads machined and finally includes the economic cost of production of individual threads.

Key words

Internal thread, internal thread cutting, compare methods of machining, production costs.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPROCH, D. *Technologie obrábění vnitřních závitů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Technologie obrábění vnitřních závitů* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25.5.2011

.....
Daniel Šproch

Poděkování

Děkuji tímto panu doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Zároveň děkuji za jeho ochotu, vstřícnost a volný čas, který mi při tvorbě této práce věnoval.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod	8
1 ZÁVIT JAKO TECHNOLOGICKÝ PRVEK STROJÍRENSKÉ SOUČÁSTI	9
1.1 Obecná teorie závitů.....	9
1.1.1 Definice závitu	9
1.1.2 Použití závitů	10
1.1.3 Popis závitu	10
1.2 Druhy závitů	11
1.2.1 Rozdělení závitů.....	11
1.2.2 Nejčastěji používané závity	12
1.3 Kontrola závitů.....	16
1.3.1 Kontrola vnějších závitů	16
1.3.2 Kontrola vnitřních závitů	17
2 METODY OBRÁBĚNÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ.....	19
2.1 Řezání závitů.....	19
2.1.1 Popis technologie	19
2.1.2 Používané nástroje.....	20
2.2 Soustružení závitů	22
2.2.1 Popis technologie	22
2.2.2 Používané nástroje.....	24
2.3 Frézování závitů	25
2.3.1 Popis technologie	25
2.3.2 Používané nástroje.....	26
2.4 Broušení závitů.....	27
2.5 Lapování závitů	28
3 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ METOD OBRÁBĚNÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ..	30
3.1 Náklady na strojní práci	30
3.2 Náklady na nástroj.....	31
3.3 Náklady na vedlejší práci.....	32
3.4 Náklady na výrobu závitu M20	33
ZÁVĚR.....	35
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	38

ÚVOD

Závit je v dnešní době velmi rozšířeným technologickým prvkem strojních součástí. Na spojovacích šroubech slouží především k zajištění rozebíratelného spojení dvou nebo více součástí nebo je využíván na pohybové šrouby, k přenosu rotačního pohybu na posuvný. Závit vzniká šroubovým natočením profilu závitu přímo na válcovou plochu, čímž můžeme získat dva základní typy závitů – vnitřní nebo vnější. Při spojování součástí dochází vždy k interakci závitu vnějšího se závitem vnitřním.

Cílem této práce bylo vytvořit ucelený přehled jednotlivých závitů a metod výroby vnitřních závitů třískovým obráběním. Ve strojírenské praxi jsou využívány především metody řezání pomocí závitníků, soustružení a frézování. Pro výrobu velmi přesných závitů se používají metody broušení a lapování. Výběr metody výroby záleží především na parametrech závitu, budoucí funkci závitového spojení a obráběném materiálu. Popis jednotlivých závitů a principy výroby vnitřních závitů jednotlivými metodami třískového obrábění jsou uvedeny v této práci.

Závěrečná část práce je věnována ekonomickým nákladům, které jsou obecně spojeny s výrobou závitu a konkrétním nákladům na výrobu jednoho vnitřního závitu M20X2 délky 30 mm.

1 ZÁVIT JAKO TECHNOLOGICKÝ PRVEK STROJÍRENSKÉ SOUČÁSTI

Závity patří mezi velice rozšířené technologické prvky strojírenských součástí, které mohou mít mnoho podob i využití. Nejčastěji se můžeme setkat se závitem metrickým v nejrůznějších obměnách. Mezi hojně využívané patří také závity trubkové, oblé a další. Velice pestrá je i paleta rozdělení podle mnoha kritérií jako jsou směr vinutí šroubovice, počet chodů a další.

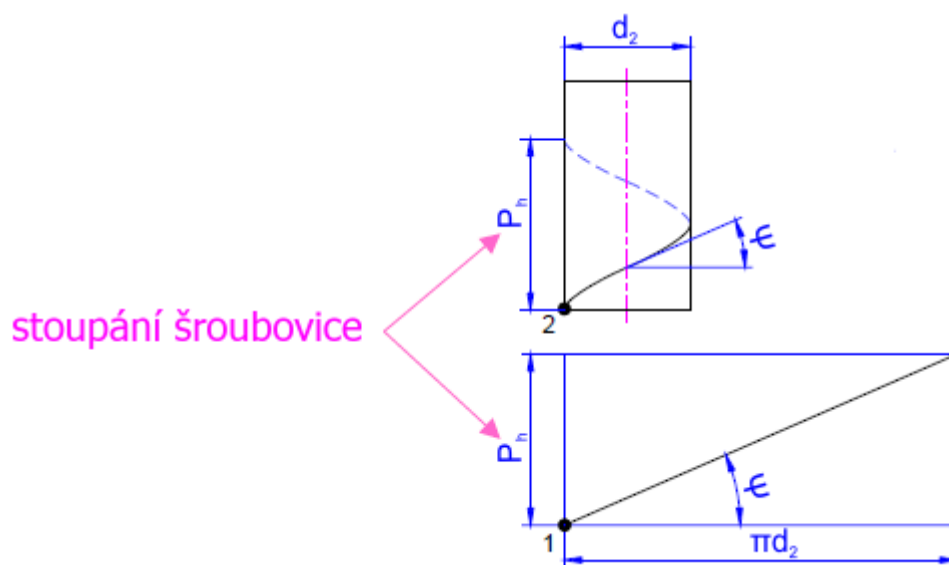
1.1 Obecná teorie závitů

Seznámení se se samotnými závity, jejich vytvoření, praktické využití, popis parametrů a popis jednotlivých částí profilu šroubovice.

1.1.1 Definice závitu

Závit je nejdůležitějším konstrukčním prvkem šroubů, matic a nejrůznějších součástí se závitem. Závit je geometricky určen závitovou plochou, která je tvořena profilem závitu pohybujícím se tak, že každý jeho bod opisuje šroubovici (obr 1.1). Základní profil každého závitu je shodný pro vnější závit (závit šroubu) i pro vnitřní závit (závit matice) a je dán jeho jmenovitými rozměry [3].

Přehled nejčastěji využívaných normalizovaných závitů, jejich profilů, značení a rozměrů najdeme ve Strojnických tabulkách.



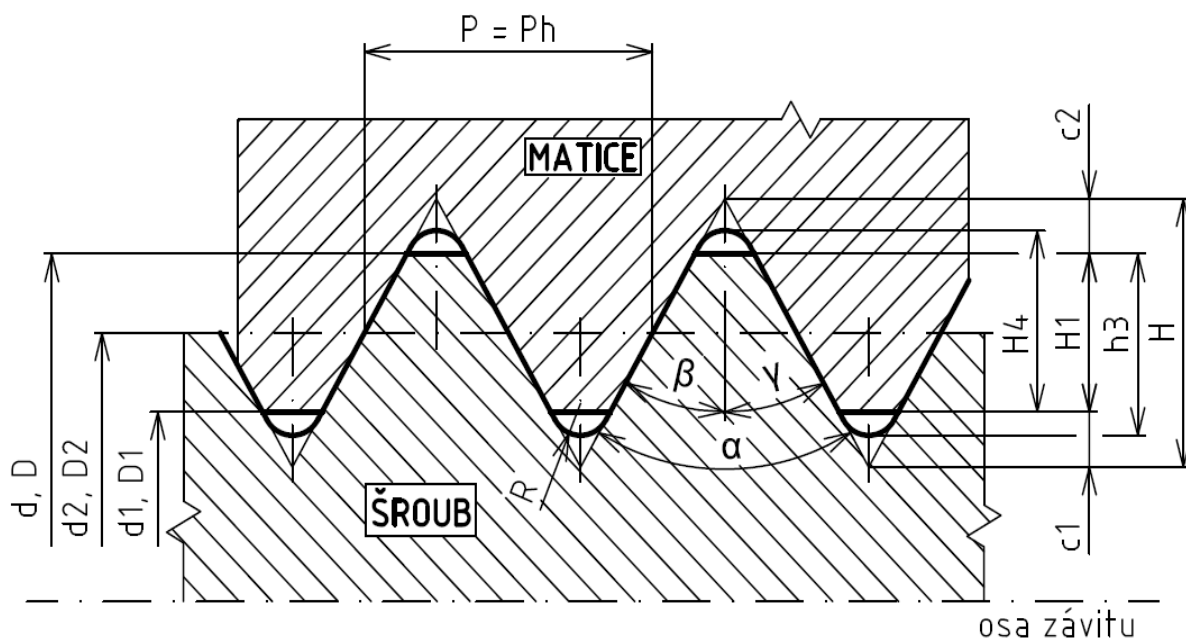
Obr. 1.1 Vytvoření pravé šroubovice [1]

P_h – stoupání závitu
 Ψ – úhel stoupání závitu
 d_2 – střední průměr válcové plochy

1.1.2 Použití závitů

Závity se používají všude tam, kde je potřeba vytvořit rozebíratelné spojení dvou a více součástí nebo na pohybových šroubech, kde potřebujeme přenést rotační pohyb na posuvný.

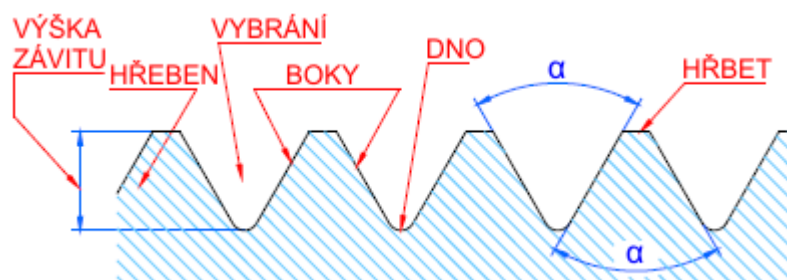
1.1.3 Popis závitu



Obr. 1.2 Prvky závitu [16]

d – velký průměr závitu šroubu
 $d2$ – střední průměr závitu šroubu
 $d3$ – malý průměr závitu šroubu
 D – velký průměr závitu matice
 $D1$ – malý průměr závitu matice
 $D2$ – střední průměr závitu matice
 P – rozteč závitu
 Ph – stoupání závitu
 α – úhel profilu závitu

β, γ – úhly boků závitu
 R – poloměr zaoblení
 H – výška základního trojúhelníku
 $H1$ – nosná výška závitu
 $h3$ – výška závitu šroubu
 $H4$ – výška závitu matice
 $c1$ – seřiznutí závitu matice
 $c2$ – seřiznutí závitu šroubu



Obr. 1.3 Popis částí profilu závitu [1]

1.2 Druhy závitů

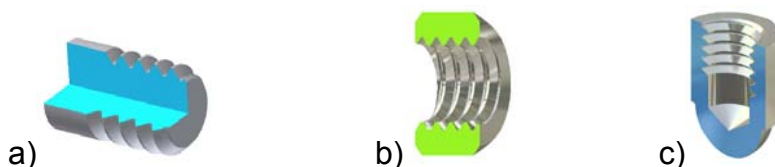
Jelikož existuje velké množství strojních součástí, které plní různorodé funkce, musí i závity mít mnoho podob a využití. Pro každý závit je důležitá jeho geometrie. Patří zde především jeho průměr, stoupání, počet chodů, rozteč a tvar.

1.2.1 Rozdělení závitů

Závity je možno rozdělit podle několika kritérií, které jsou pro něj specifické a jsou vyžadovány pro danou funkci závitu.

Mezi hlavní kritéria rozdělení patří:

- Poloha profilu vzhledem k základnímu tělesu závitu
 - Vnější (šrouby)
 - Vnitřní (matice)



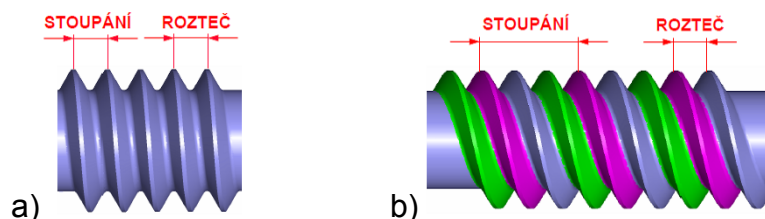
Obr 1.4 a) Vnější závit, b) průchozí, c) neprůchozí vnitřní závit [1]

- Smysl vinutí závitu
 - Pravé – neoznačují se
 - Levé – označují se LH (Left Hand)



Obr 1.5 a) Levý závit, b) pravý závit [10]

- Počet závitových ploch připadajících na jedno stoupání
 - Jednochodé $P_h = P$
 - Několichodé $P_h = n_{ch} \cdot P$



Obr 1.6 a) Jednochodý závit, b) trojchodý závit [10]

1.2.2 Nejčastěji používané závity

Mezi závity, se kterými se v běžném životě setkáváme nejčastěji, patří závit metrický, Edisonův a trubkový. Méně obvyklými jsou závity lichoběžníkové, pancéřové, oblé a v Evropě minimálně se vyskytující Whitworthovy.

Metrický závit (obr 1.7) je nejrozšířenějším druhem závitu pro spojovací šroubové spoje. Tvar a rozměry závitu jsou definované v ISO normě, standard ISO 68-1 [14]. Závit je charakterizován svým průměrem D a stoupáním závitu P . Závit je geometricky tvořen symetrickým „V“ profilem.

Příklad značení:

M12x1 LH-6H/7g

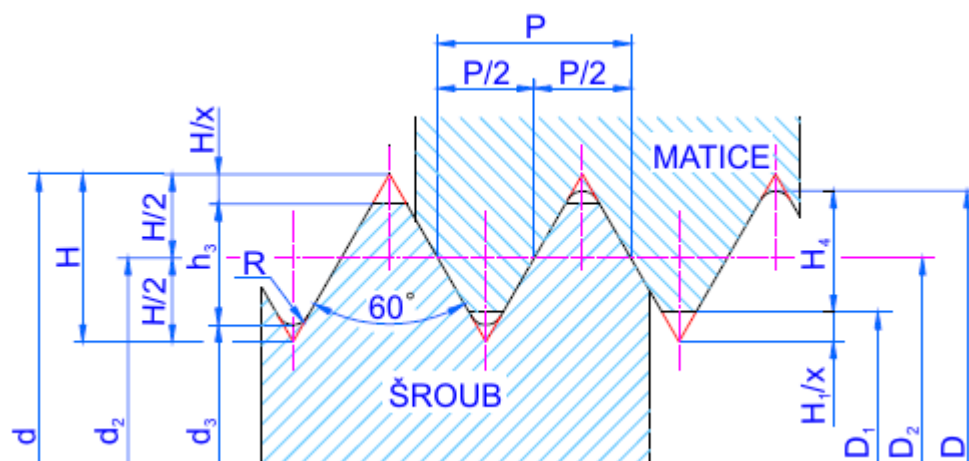
M – metrický závit

12 – velký průměr závitu v mm

1 – stoupání závitu v mm

LH – chod závitu (levý, pravý – neuvádí se)

6H/7g – tolerance závitu



Obr 1.7 Metrický závit [1]

Whitworthův závit (obr 1.8) je závit používaný zejména ve Velké Británii, Austrálii a USA. Jeho profil je shodný s metrickým závitem, liší se však vrcholovým úhlem, který je 55° , stoupání je dáno počtem závitů na palec délky a popisuje jej norma ISO7. Vyskytuje se ve 4 variantách BSW, BSF, BSC a AUC [14].

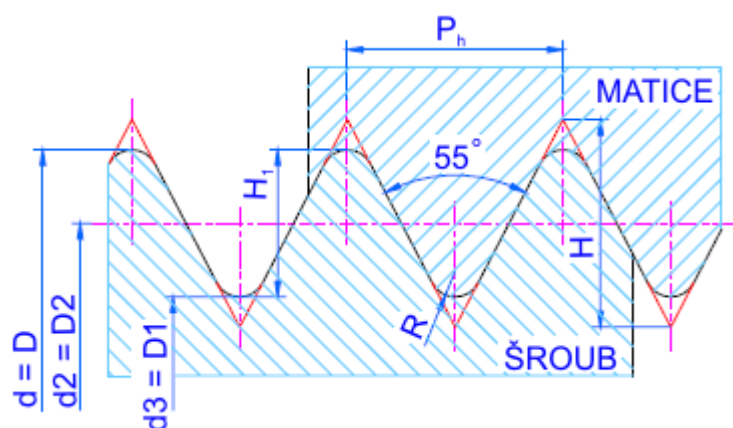
Příklad značení:

W 6x1/18"

W – Whitworthův závit

6 – velký průměr závitu v palcích

1/18" – stoupání závitu v palcích



Obr 1.8 Whitworthův závit [1]

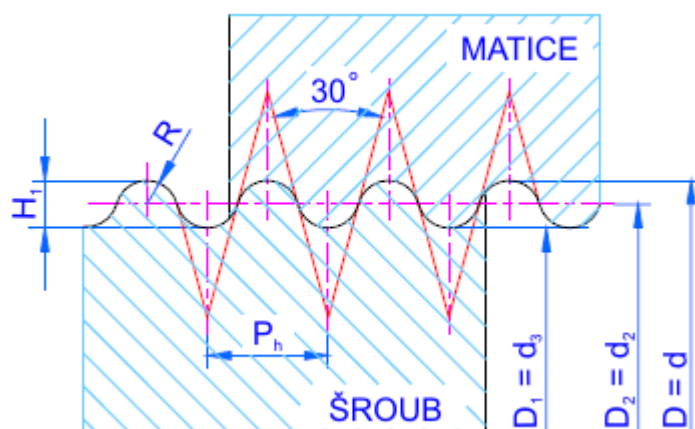
Oblý závit (obr 1.9) je závit souměrného profilu s vrcholovým úhlem 30° a výrazným zaoblením shodným na malém i velkém průměru závitu. Využívá se především pro závitové spoje vystavené agresivnímu prostředí a pro spoje zatížené rázy [1].

Příklad značení:

Rd 40

Rd – oblý závit

40 – velký průměr závitu v mm



Obr 1.9 Oblý závit [1]

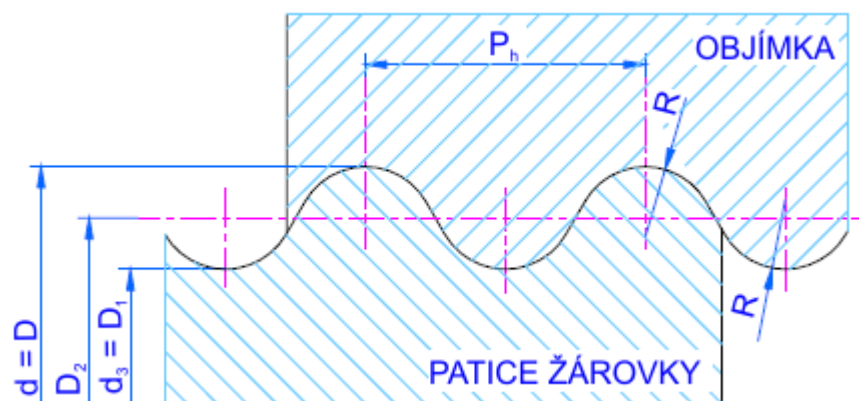
Edisonův závit (obr 1.10) je závit, který je zaoblen tak, že nemá ostré hrany a patří mezi standardizované závity. V domácnostech se nejčastěji vyskytuje závit E27, jímž jsou od roku 1881 vybaveny klasické 230V žárovky a následně i úsporné zářivky.

Příklad značení:

E33

E – Edisonův závit

33 – velký průměr závitu v mm



Obr 1.10 Edisonův závit [1]

Lichoběžníkový rovnoramenný závit (obr 1.11) nazýván též trapézový má širší patu a užší hřbet a může v obou směrech přenášet velké síly. V praxi je používán především u pohybových šroubů svěráků a stolů a supportů obráběcích strojů.

Příklad značení:

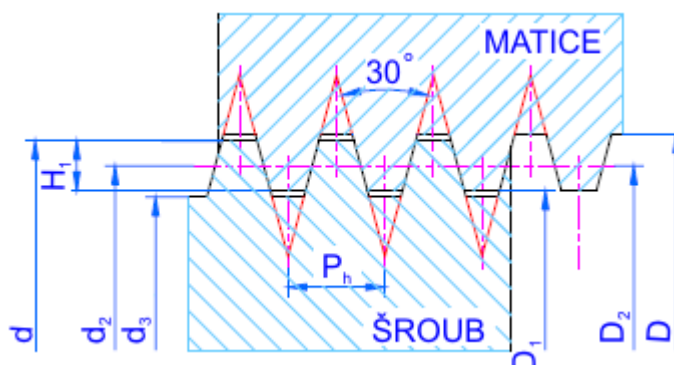
Tr20x8 (P4)

Tr – trapézový závit

20 – velký průměr závitu v mm

8 – stoupání závitu v mm

P4 – rozteč závitu v mm



Obr 1.11 Rovnoramenný lichoběžníkový závit [1]

Lichoběžníkový nerovnoramenný závit (obr 1.12) nazýván též pilový má nosnou stranu závitu skloněnou o 3° k ose závitu a můžeme ho velkou silou zatížit pouze v jednom směru [1]. Je využíván především pro vřetenové lišty, šrouby zdvihadel a zkušebních trhacích strojů.

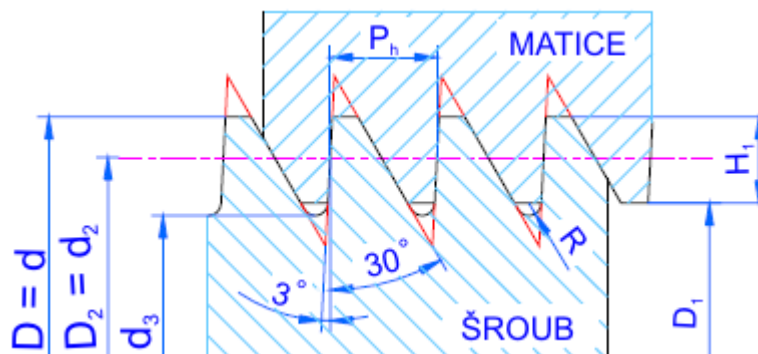
Příklad značení:

S20x4

S – pilový závit

20 – velký průměr závitu v mm

4 – rozteč závitu v mm



Obr 1.12 Nerovnoramenný lichoběžníkový závit [1]

Trubkový závit (obr 1.13) je mezinárodně normalizovaným závitem používaný pro šroubové spojování potrubí. Popis závitu je dán normou ISO7, jeho profil je shodný jako u Whitworthova závitu, ale je jemnější. Označení původně udávalo vnitřní průměr trubky v palcích, nyní se jedná jen o technické označení.

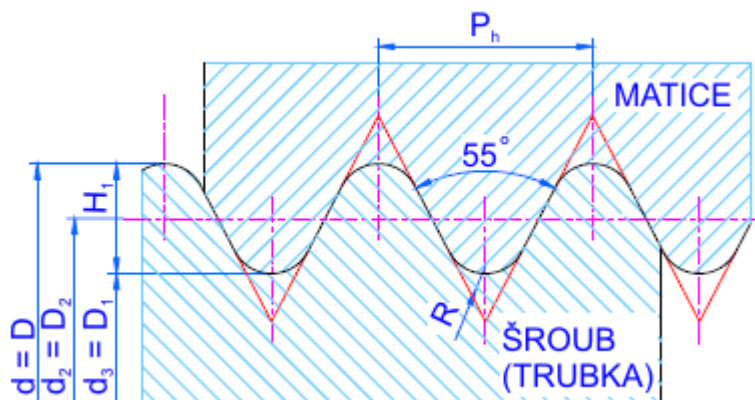
Příklad značení:

G2, R 1 1/2

G – trubkový závit se stálým průměrem

R – trubkový závit kuželový

2, 1 1/2 – světlost trubky v palcích



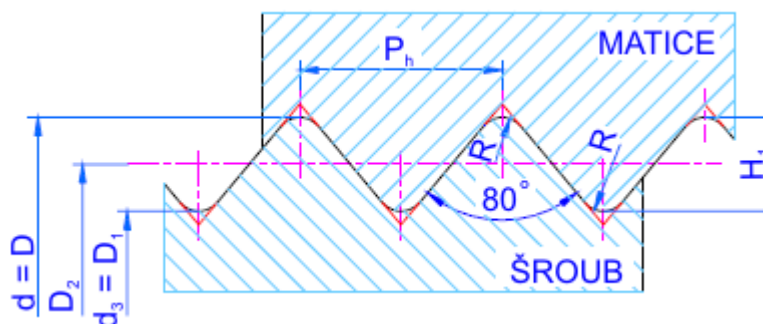
Obr 1.13 Trubkový závit [1]

Pancéřový závit (obr 1.14) je velice podobný metrickému závitu s tím rozdílem, že jeho vrcholový úhel je 80° a zaoblením vrcholů tvořícího trojúhelníku. Používá se pro spojování trubek v elektroinstalaci [1].

Příklad značení: P16

P – pancéřový závit

16 – vnitřní průměr trubky v mm



Obr 1.14 Pancéřový závit [1]

1.3 Kontrola závitů

Jelikož při výrobě závitu může docházet k různým nežádoucím vlivům, jakými jsou například špatný nástroj nebo nevhodný stroj, je nutno závity také zpětně kontrolovat. Kontroluje se především střední průměr závitu a jeho předepsané tolerance.

1.3.1 Kontrola vnějších závitů

- a) Komplexní kontrola (kontrola závitu jako celku)
- b) Dílčí kontrola (samostatná kontrola jednotlivých parametrů závitu)
 - Kontrola rozteče P
 - Kontrola středního průměru d_2
 - Kontrola vrcholového úhlu

Kontrola středního průměru třídrátkovou metodou (obr 1.15) [9]

- Jedná se o normalizovanou metodu
- Pro danou rozteč závitu P jsou vybrány drátky příslušného průměru d_d (průměry těchto drátků jsou tabelizovány)
- Průměr drátku se vypočte ze vztahu [9]

$$d_d = \frac{P}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

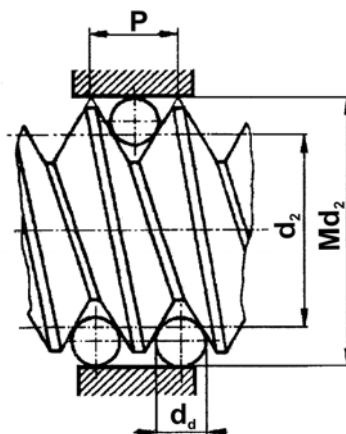
- Délkovým měřidlem je změřen průměr přes drátky Md_2
- Pro výpočet středního průměru d_2 je dán vztah [9]

$$d_2 = Md_2 - d_d \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{P}{2} \cdot \cot g \frac{\alpha}{2} - k_1 + k_2 \text{ [mm]} \quad (1.2)$$

kde:

k1 – korekce, která zohledňuje úhel stoupání šroubovice ($1 \div 2 \text{ } \mu\text{m}$)

k2 – korekce, která zohledňuje měřicí tlak



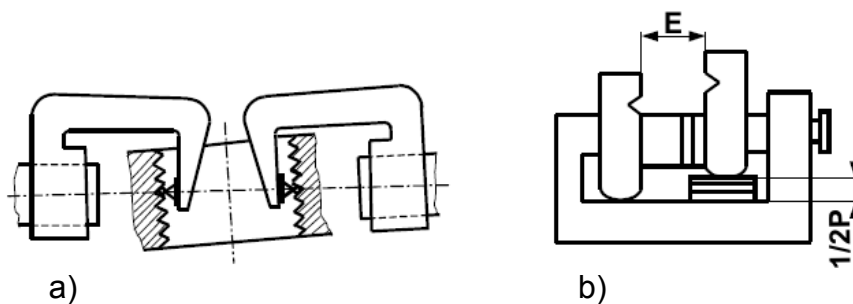
Obr. 1.15 Třídrátková metoda [9]

1.3.2 Kontrola vnitřních závitů

Způsoby kontroly parametrů u vnitřního závitu jsou omezené konstrukcí a u malých průměrů závitů (pod 10mm) téměř nemožné. Ve většině případů je jedinou možností pro kontrolu použití závitových kalibrů [9].

- Kontrola rozteče P
 - U větších průměrů se provádí na měřícím mikroskopu s hlavicí upravenou tak, že optická osa tvoří úhel 90°
 - Kontrolovaný závit je promítán v zorném poli okuláru
 - Osa části vsunutá do závitové části musí být rovnoběžná s osou měřeného závitu
- Kontrola vrcholového úhlu
 - Provádí se na mikroskopu obdobně jako rozteč
 - Přímé měření je většinou velmi obtížné
 - Kontrola se provádí také nepřímou otiskovou metodou (kontrola je prováděna na otisku kontrolovaného závitu)
- Kontrola středního průměru D_2 (obr1.16)
 - U větších průměrů jsou používány mikrometrické odpichy se závitovými vložkami
 - Přesnější kontroly jsou prováděny na universálním délkoměru s nastavitelnými rameny s kulovými doteky
 - Kontrolovaná součást se volně položí na pohyblivý stolek
 - Ramena jsou nastaveny pomocí přípravku, koncových měrek a šablon na požadovaný rozměr

- Vzdálenost E je určena z tabulek a nastavena pomocí koncových měrek
- Vzdálenost E odpovídá střednímu průměru závitu D_2
- Jedna ze šablon se musí posunout o polovinu rozteče závitu



Obr. 1.16 Kontrola středního průměru matice [9]
a) princip kontroly, b) nastavení ramen

2 METODY OBRÁBĚNÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ

Při výrobě závitů třískovým obráběním dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Vlastní proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu se nazývá řezání, resp. řezný proces.[2]

K výrobě vnitřních závitů obráběním lze využít technologie řezání pomocí závitníků, soustružení, frézování, broušení nebo lapování. Využití jednotlivých technologií je omezeno pouze rozměry vyráběných závitů, konstrukcí nástrojů a tvarem součástí, v níž je závit zhotovován. U všech uvedených metod se závity vytváří do předvrtaných děr, které mají daný průměr (tab 2.1). U řezaných závitů můžeme pro zjednodušení uvažovat průměr díry $0,8 \times D_1$.

Tab. 2.1 Doporučené průměry vrtáků děr pro metrický závit [14]

závit	stoupání závitu P_h			doporučený průměr vrtáku		
	základní	jemné		A	B	C
		B	C			
M 4	0,7	0,5		3,3	3,5	
M 5	0,8	0,5		4,2	4,5	
M 6	1	0,75	0,5	5	5,2	
M 7	1	0,75	0,5	6	6,2	
M 8	1,25	1	0,75	6,7	6,9	7,2
M 10	1,5	1,25	1	8,4	8,6	8,9
M 12	1,75	1,5	1,25	10,2	10,4	10,7

2.1 Řezání závitů

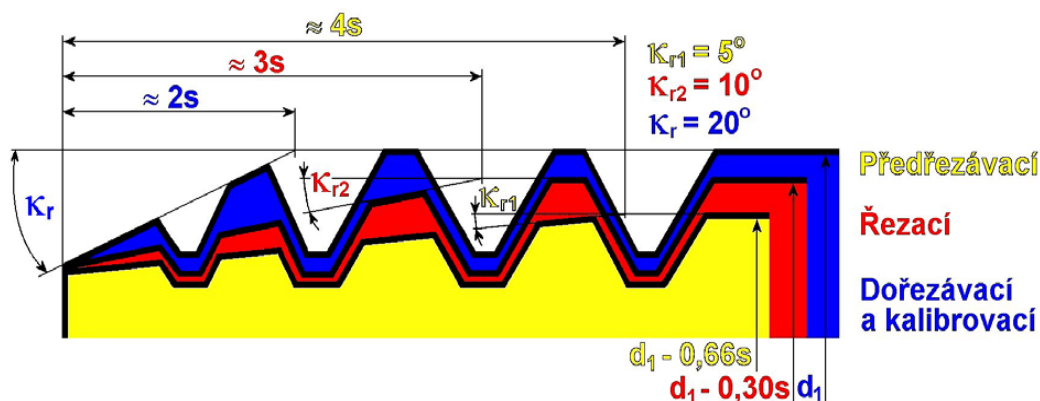
Tato metoda výroby vnitřních závitů je považována za nejrozšířenější. Na trhu je k dispozici nepřeberné množství závitníků různých parametrů. Vyrábějí se především z rychlořezných ocelí nebo ze slinutých karbidů a mohou být povlakovány pro zlepšení mechanických vlastností. Při řezání závitů je velmi důležité používat řezný olej.

2.1.1 Popis technologie

Řezání závitů pomocí závitníků se může provádět dvěma způsoby

- Ručně, a to pomocí sadových nebo maticových závitníků upnutých do vratidla. Sadové jsou použitelné i na neprůchozí díry, neboť mají kratší řeznou část. Tato sada se nejčastěji skládá ze 3 závitníků, předřezávacího, řezacího a kalibrovacího (obr 2.1), které je nutno použít postupně. Maticové závitníky mají delší řezný kužel, na kterém se postupně zvyšuje záběr do materiálu. Z tohoto důvodu jsou vhodné pro průchozí díry.

- Strojně, pomocí strojních závitníků a příslušného stroje, například vrtačky. Hlavní rozdíl mezi strojním a ručním závitníkem je v jeho řezné části, která je u strojních závitníků kratší. Jsou vhodné pro průchozí i neprůchozí díry



Obr. 2.1 Profil ručních sadových závitníků [6]

Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu řezaných závitů [8]

- závitníky nebroušené
 - stupeň přesnosti 6 až 8
 - drsnost povrchu $Ra\ 3,2\ \mu m$
- závitníky broušené
 - stupeň přesnosti 4 až 6
 - drsnost povrchu $Ra\ 1,6\ \text{až}\ 3,2\ \mu m$

2.1.2 Používané nástroje

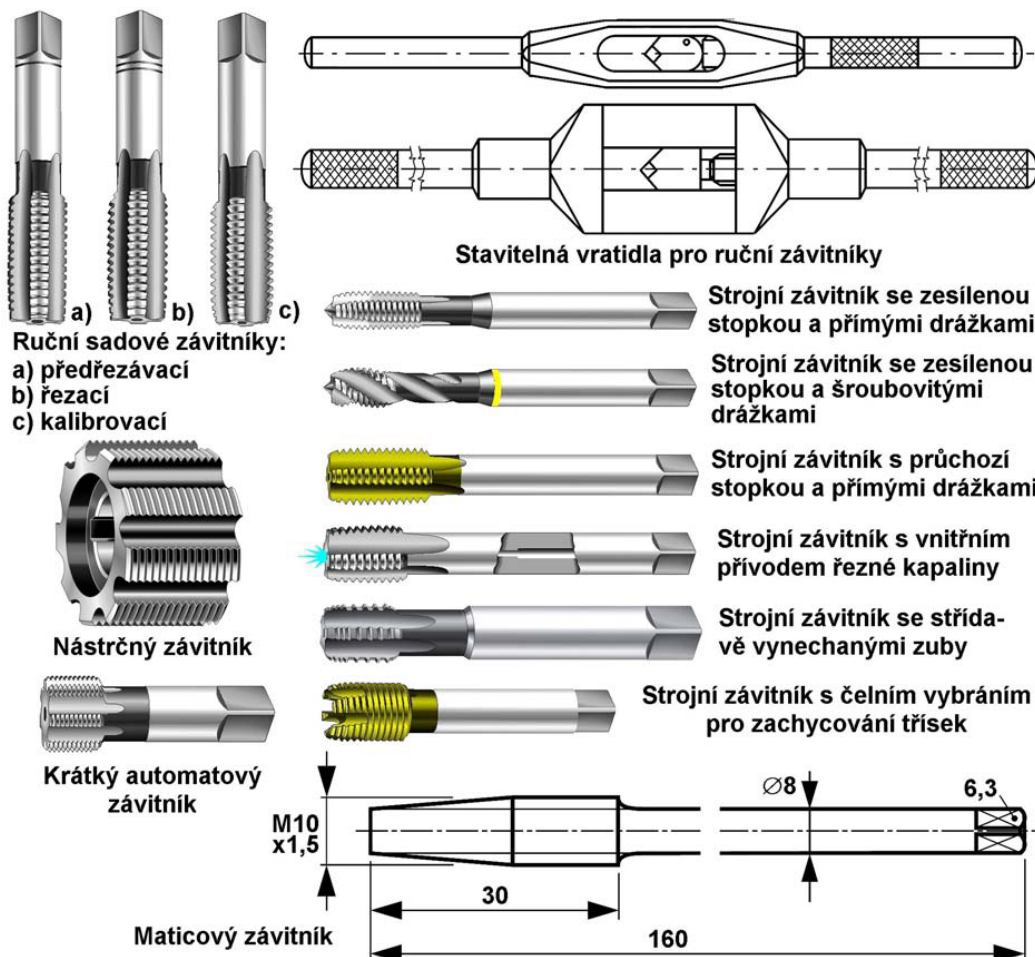
Závitník je v podstatě šroub (s náběhovým kuzelem), na němž jsou vytvořeny břity pomocí jedné až osmi přímých nebo šroubovitých drážek [6] (obr 2.3). K výběru vhodného typu závitníku jsou podstatné jeho velikost, tvar a úprava řezné části. Tyto parametry je nutno zohledňovat s ohledem na vlastnosti obráběného materiálu.

Rozdělení závitníků podle použití [15]

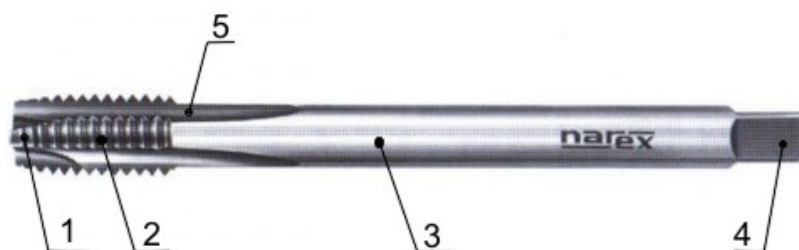
- ruční sadové – pro ruční řezání závitů,
- strojní – pro řezání závitů v průchozích i neprůchozích dírách,
- maticové – pro řezání závitů do matic,
- kalibrovací – pro dokončování závitů,
- čelistníky – pro řezání závitů závitových čelistí,
- speciální – lichoběžníkové se zahnutou stopkou,
- sdružené – pro současné vrtání děr a řezání závitů.

Značení závitníků

Na závitníku se nachází údaj o jeho průměru, např. M10. U sadových závitníků je navíc na jeho stopce vyznačeno, zda jde o předřezávací, řezací nebo kalibrovací závitník (obr.2.2). Předřezávací má 1 rysku, řezací 2 a kalibrovací 3 nebo je bez rysky. Někteří výrobci označují pomocí barevných proužků také materiál nástroje [13].



Obr. 2.2 Ruční a strojní závitníky [6]



Obr. 2.3 Popis částí závitníku

- 1 – řezný kužel
- 2 – vodící kalibrovací část
- 3 – stopka s označením
- 4 – čtyřhran pro uchycení
- 5 – drážka pro odvod třísek

Materiály pro výrobu závitníků [13]

- Nástrojová ocel (NO) – použití: protahování závitů, malá kusová výroba. Z této oceli se vyrábí závitová očka, ruční a maticové závitníky.
- Rychlořezná ocel (HSS, HSSE) – výrazně tvrdší a pevnější materiál, ze kterého se vyrábějí všechny typy nástrojů – delší životnost ostří. Produktivní HSSE ocel je vhodná pro velké série strojního závitování.
- HSSE ocel s povlakem (většinou nitrid titanu) – zvyšuje jeho otěruvzdornost a tím prodlužuje životnost ostří závitníku. Vhodné pro velké série závitů a tvrdší a houževnatější materiály.
- Slinuté karbidy – jsou mnohem tvrdší než rychlořezné oceli, použitelné na většinu materiálů, velmi důležitá je volba správného SK podle použitého materiálu obrobku

2.2 Soustružení závitů

Závity se soustruží na univerzálních, revolverových, poloautomatických, automatických a různých speciálních soustružnických strojích [6]. Jako nástroje se používají soustružnické nože různých tvarů a geometrií. Tato metoda není vhodná pro velmi malé vnitřní závity právě kvůli rozměrům nástroje.

2.2.1 Popis technologie

Princip soustružení závitů je založen na posuvu nástroje f a otáčkách obrobku n . Tímto vzájemným pohybem vytváří nástroj na obrobku šroubovitou drážku. V závislosti na použitém nástroji se závit vytváří buď jednodřevovým nástrojem postupným ubíráním materiálu na několik průchodů nástroje nebo při použití hřebíkových nožů lze vyrobit celý závit na jeden průchod nástroje.

Nejdůležitějším faktorem při soustružení závitů, na němž závisí stoupání soustruženého závitu, je posuv nástroje na otáčku obrobku. Pro kinematiku soustružení na univerzálním hrotovém soustruhu platí [6]:

$$v_f = n_0 \cdot s_0 = n_s \cdot s_s \quad (2.1)$$

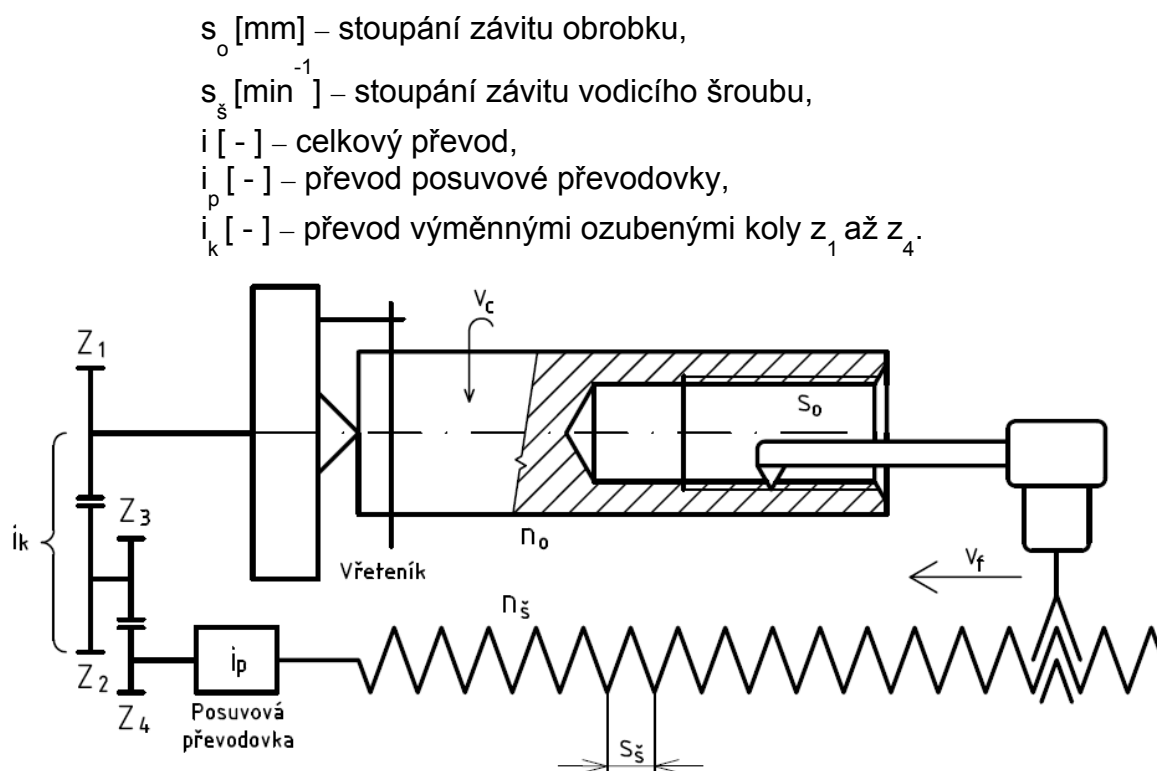
$$i = \frac{n_s}{n_0} = \frac{s_0}{s_s} = i_p \cdot i_k = i_p \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \quad (2.2)$$

kde:

v_f [mm min⁻¹] – posuvová rychlost,

n_0 [min⁻¹] – otáčky obrobku,

n_s [min⁻¹] – otáčky vodícího šroubu,



Obr. 2.5 Kinematika soustružení vnitřního závitu na univerzálním hrotovém soustruhu [6]

Metody soustružení závitů [6]

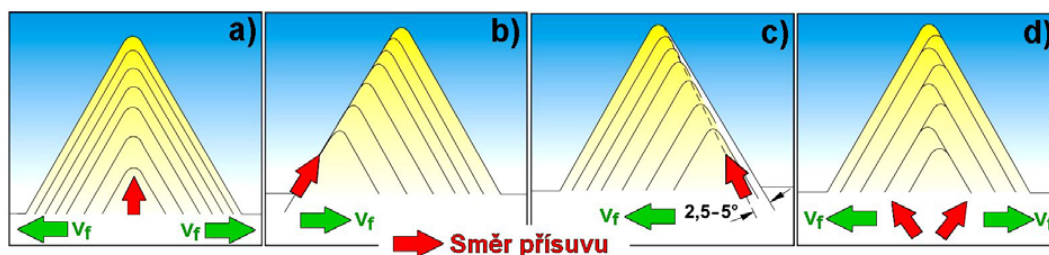
Radiální přísuv (kolmo na osu obrobku) se při postupném řezání používá nejčastěji. Dochází k rovnoměrnému úběru materiálu na obou bocích profilu závitu. Je vhodný pro výrobu závitů s menším stoupáním ($s < 1,5$ mm), jeho výhody jsou příznivá tvorba třísky a rovnoměrné opotřebení břitu nástroje, nevýhoda je vznik kmitání u závitů s větším stoupáním. Používá se zejména pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou třísku.

Boční přísuv snižuje tepelné zatížení špičky nástroje (a tím i opotřebení), tvořená tříska je dobře tvarována a odváděna z místa řezu. Používá se pro řezání závitů s větším stoupáním ($s > 1,5$ mm) a trapézové závity. Nevýhodou je tření pravého břitu nástroje o pravý bok obráběného profilu a následné nepravidelné opotřebení břitu nástroje a zhoršení jakosti povrchu na pravém boku vytvářeného závitového profilu.

Boční přísuv s odklonem 3° až 5° eliminuje tření na boku profilu, které vzniká při soustružení závitu s bočním přísuvem.

Střídavý přísuv je doporučován pro soustružení závitů s velkým stoupáním v materiálech, které tvoří dlouhou, špatně utvářenou třísku. Výhodou je rovnoměrné rozdělení úběru materiálu na pravý a levý břit nástroje (rovnoměrnější opotřebení), nevýhodou vyšší nároky na programování obráběcího stroje.

U těchto způsobů soustružení závitů se doporučuje provést poslední, dokončovací záběr radiálním přísuvem (především z důvodu snížení drsnosti povrchu vyřezaného závitu).



Obr. 2.6 Způsoby postupného soustružení závitu [6]

a) radiální přísuv, b) boční přísuv, c) boční přísuv s odklonem, d) střídavý přísuv

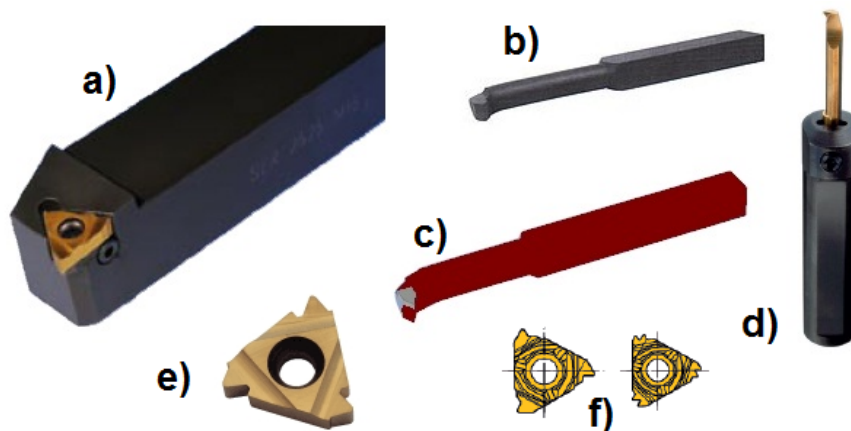
Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu soustružených závitů [8]

- závitové nože
 - stupeň přesnosti 6 až 7
 - drsnost povrchu R_a 1,6 až 3,2 μm
- kotoučové nože
 - stupeň přesnosti 6 až 7
 - drsnost povrchu R_a 0,8 až 3,2 μm

2.2.2 Používané nástroje

Pro soustružení závitů jsou dnes využívány především soustružnické nože s vyměnitelnými břitovými destičkami (obr 2.7a) ze slinutých karbidů, cermetů nebo řezné keramiky. Uchycení břitových destiček je realizováno mechanicky pomocí šroubu. Jsou rozlišovány dva základní typy destiček a to jednoprilové, které mohou být radiální nebo kotoučové a hřebínkové, které mohou být v provedení prizmatickém či kotoučovém (obr 2.7f).

Další skupiny tvoří celistvé soustružnické nože z rychlořezných ocelí (obr 2.7b), nože s pájenými břitovými destičkami (obr 2.7c) a modulární nože, u kterých lze do základního držáku upevnit hlavice s vyměnitelnými břitovými destičkami.



Obr 2.7 Nástroje pro soustružení závitů

a) Závitový nůž s VBD firmy Pramet Tools, b) závitový nůž HSS, c) závitový nůž s pájenými břitovými destičkami, d) nástroj Coro Turn XS firmy SandvikCoromant, e) závitová destička Pramet Tools, f) rozdíl mezi jednohrotou a hřebenovou destičkou

Kritéria pro výběr vhodného nástroje jsou především:

- Tvar vyráběného závitu
- Obráběný materiál
- Stroj, na kterém se bude závit vyrábět
- Náklady na nástroj

Způsob značení nožů s VBD pro soustružení závitů

1	2	3	4	5	6	7	8
S	E	R	-	S	2525	M	16 -
1	2	3	4				
Způsob upínání	Způsob obrábění	Směr řezu	Způsob provedení				
5	6	7	8				
Rozměry držáku [mm]	Celková délka	Velikost destičky	Úhel λ				

Obr 2.8 a) Značení držáku [12]

1	2	3	4	5	6	7	8
T	N	16	E	R	175	M	- S
1	2	3	4				
Tvar destičky	Úhel hřbetu	Délka řezné hrany	Vnější - vnitřní				
5	6	7	8				
Provedení destičky	Stoupání závitu	Profil závitu	Utvařec				

Obr 2.8 b) Značení destičky [12]

2.3 Frézování závitů

Frézování vnitřních závitů lze s určitým omezením provádět analogicky jako u vnějších závitů, a to kotoučovou frézou, hřebenovou závitovou frézou, stopkovou frézou a také dalšími speciálními druhy fréz. Z důvodu rozměrů nástroje není tato metoda vhodná pro velmi malé díry. Důležitou podmínkou je, že průměr frézy musí být menší než 2/3 průměru vnitřního frézovaného závitu [2].

2.3.1 Popis technologie

Při výrobě závitů frézováním korespondují metody výroby s kinematikou obráběcího procesu a použitým nástrojem [2].

Frézování závitů snižuje strojní čas a výrobní náklady, neboť odpadá, s ohledem na použitou technologii, nutnost předvrtání díry. Další časová

úspora vzniká především u závitů s jemným stoupáním, neboť závitová fréza vyrobí na jednu otáčku po obvodu závitového otvoru celý závit.

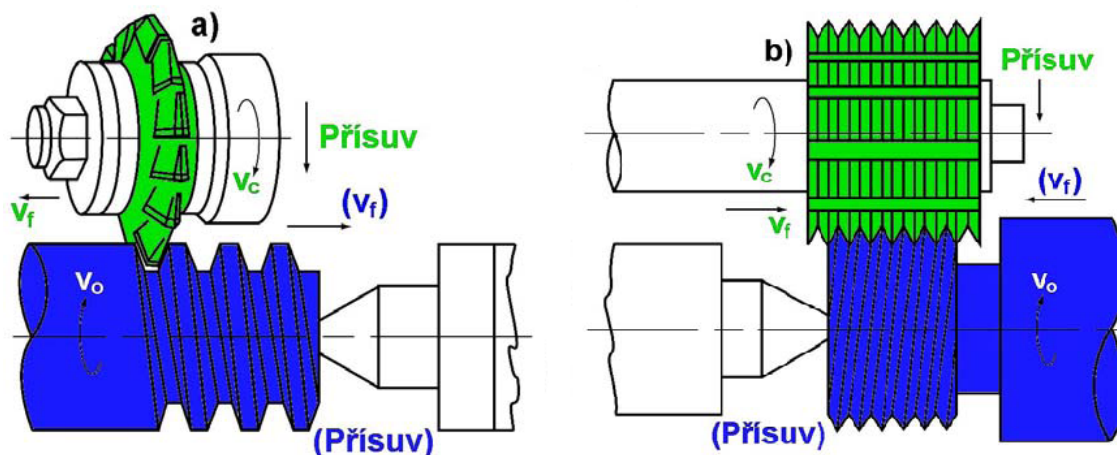
Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu frézovaných závitů [8]

- kotoučová fréza
 - stupeň přesnosti 6 až 7
 - drsnost povrchu $Ra\ 3,2\ \mu m$
- hřebenová fréza
 - stupeň přesnosti 6 až 8
 - drsnost povrchu $Ra\ 3,2\ \mu m$
- okružovací frézovací hlava
 - stupeň přesnosti 6 až 7
 - drsnost povrchu $Ra\ 1,6\ \text{až}\ 3,2\ \mu m$

2.3.2 Používané nástroje

Závitové kotoučové frézy (ukázka vnějšího frézování – obr. 2.9a) jsou jednodílné nástroje, které jsou využívány k frézování dlouhých závitů, jako jsou například pohybové šrouby. Tvar frézy je dán profilem závitové mezery a při výrobě závitu je fréza vykloněna pod úhlem stoupání závitu. Za jednu otáčku obrobku se fréza nebo obrobek posune o délku rovnou stoupání závitu. Většinou jsou vyrobeny z rychlořezných ocelí [2].

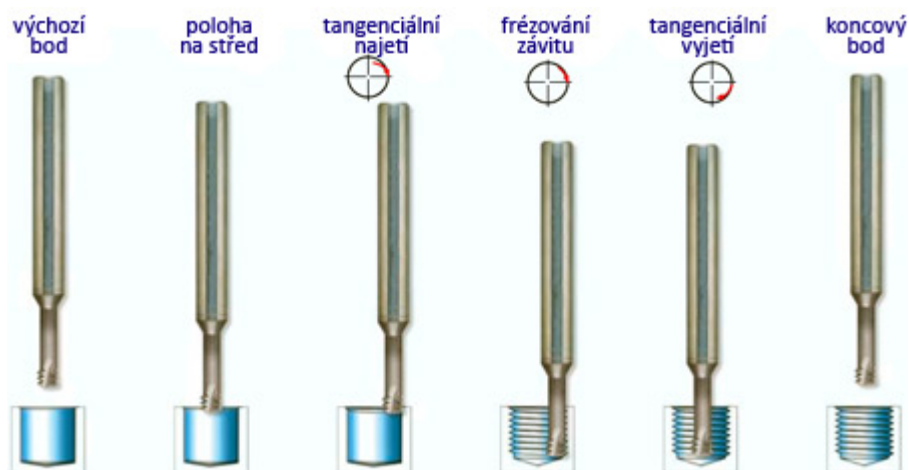
Závitové hřebenové frézy (ukázka vnějšího frézování – obr. 2.9b) jsou vyráběny jako nástrčné nebo s kuželovou stopkou a využívají se k frézování kratších závitů. Na svém obvodu má závitový profil, který je o 3 závitů širší než je šířka vyráběného závitu. Vyřízení závitu se provede na $1\frac{1}{4}$ až $1\frac{1}{2}$ otáčky obrobku. Fréza i obrobek konají rotační pohyb kolem své osy a zároveň se musí vůči sobě posouvat o jedno stoupání závitu na otáčku obrobku [2].



Obr. 2.9 Princip frézování vnějších závitů [6]

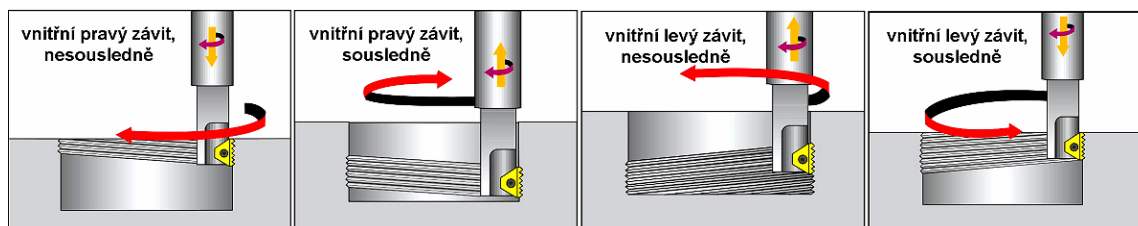
a) Kotoučová fréza, b) Hřebenová fréza

Monolitní závitové frézy jsou nejproduktivnější metodou pro výrobu dlouhých závitů s velkým stoupáním. Závitová fréza se otáčí kolem vlastní osy a zároveň kolem osy obrobku a koná posuvný pohyb. Jejich předností je čisté řezání plného profilu závitů a to v průchozích i neprůchozích dírách, čímž je zajištěno jejich přesné řízené dokončení [11]. Umožňují provést v průběhu jednoho výrobního cyklu tři různé operace bez nutnosti výměny nástroje a to vrtání díry, sražení hrany a frézování závitů (obr. 2.10) [6]. Mohou být bez vnitřního nebo s vnitřním přívodem řezné kapaliny.



Obr. 2.10 Cyklus frézování závitů monolitní závitovou frézou [11]

Závitové frézy s VBD pracují na stejném principu jako monolitní frézy, otáčí se kolem vlastní osy i osy obrobku (obr. 2.11). Liší se provedením řezné části, kdy je na držáku mechanicky připevněná VBD z nepovlakovaného nebo povlakovaného slinutého karbidu. Pomocí nástroje s jedinou břitovou destičkou a CNC obráběcího stroje lze vyrobit závitů různých průměrů a délek, se stejným stoupáním závitů [6].



Obr. 2.11 Možné technologie výroby závitů pomocí frény s VBD [6]

2.4 Broušení závitů

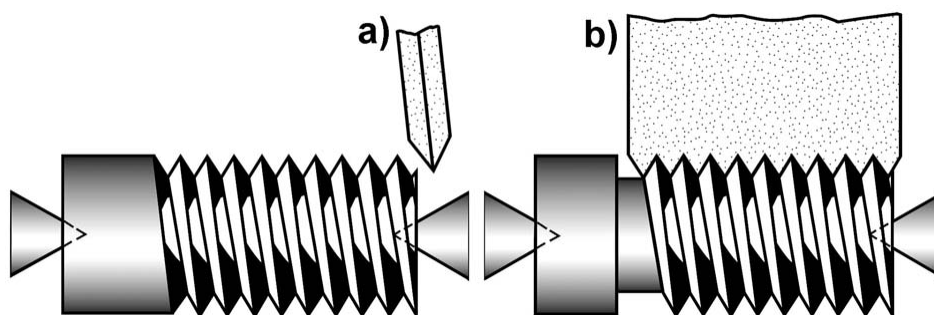
Broušení vnitřních závitů se používá pro výrobu přesných šroubů, u kterých jsou vyšší nároky na parametry drsnosti povrchu a parametrů závitů [2].

Vnitřní závit se brousí malými průměry brusných kotoučů. Nastavení kotouče do předřezaného závitů je oproti broušení vnějších závitů obtížné. Jednoprofilovými kotouči se brousí jen nejpřesnější závitů na měřidlech od průměru 25 mm. Zapichovací způsob broušení několikaprofilovým kotoučem

se používá na jemné závity délky do 20 mm. Ostatní vnitřní závity se brousí podélným způsobem [2].

Jednoprofilový brusný kotouč (ukázka vnějšího broušení – obr. 2.12b) je při broušení vykloněn o úhel stoupání závitu, nastaven na plnou hloubku závitu a otáčí se řeznou rychlostí. Obrobek se otáčí a axiálně posouvá o délku stoupání závitu za jednu otáčku obrobku. Tento způsob výroby je vhodný pro závity s nejvyšší přesností (závitové nástroje a měřidla), jeho nevýhodou je nízká produktivita [2].

Hřebenový brusný kotouč (ukázka vnějšího frézování – obr. 2.12b) je po svém obvodu tvořen několika negativními profily závitu. Kotouč je nastaven rovnoběžně s osou obrobku a otáčí se řeznou rychlostí. Při zapichovacím broušení je kotouč o 2 až 3 rozteče širší než je délka závitu. Postupně se radiálně přisouvá k obrobku až na plnou hloubku profilu závitu. Obrobek se přitom otáčí a axiálně posouvá o jednu rozteč závitu na otáčku. Hřebenovými kotouči lze brousit jemné závity s roztečí menší než 1 mm zcela, bez předchozího obrobení [2].



Obr. 2.12 Broušení vnějších závitů [6]
a) jednoprofilový kotouč, b) hřebenový kotouč

Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu broušených závitů [8]

- stupeň přesnosti 4 až 5
- drsnost povrchu R_a 0,2 až 0,8 μm

2.5 Lapování závitů

Lapování je dokončovací metoda obrábění, s níž je možno dosáhnout největší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti lapované plochy závitu. Lapují se funkční plochy měřidel jako jsou závitové kalibry a dále důležitá závitová spojení. Lapování se využívá jak při dokončování v ruční kusové výrobě, tak i ve strojní sériové i hromadné výrobě.

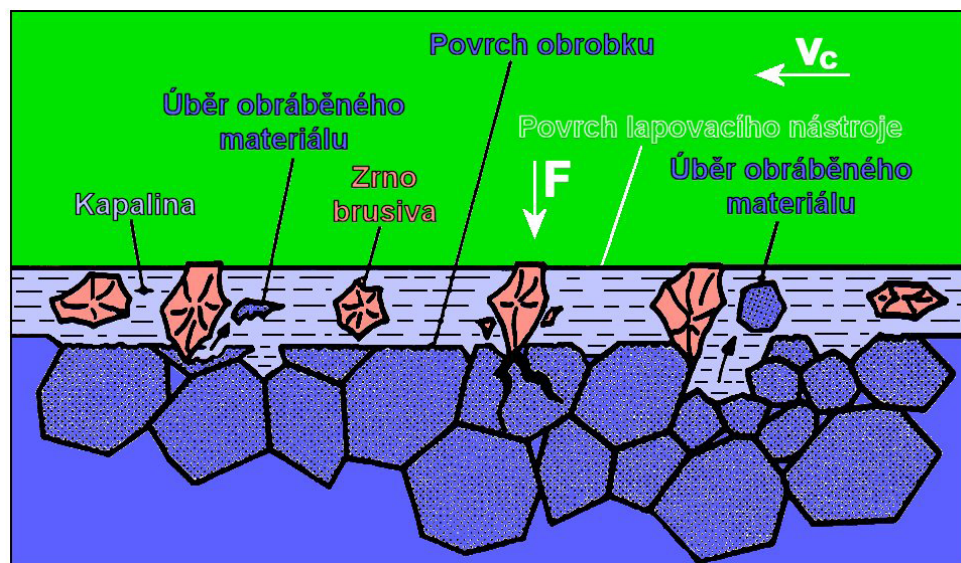
Lapování je specifický druh velmi jemného broušení, u něhož dochází k odebrání materiálu volným brusivem, které je přiváděno mezi vzájemně se pohybující obrobek a lapovací nástroj (obr 2.13).

Z technologického hlediska je rozdělitelné na hrubovací, při němž dochází k odřezávání nerovností a výstupků obráběného závitu, jemné a velmi jemné, kdy dochází k plastické deformaci povrchové lapované plochy závitu.

Mezi nevýhody lapování patří velká pracnost, nízká produktivita a vysoké náklady na jednotku plochy vzhledem k ostatním dokončovacím metodám obrábění závitů. Proto jej často nahrazujeme honováním či superfinišováním [7].

Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu lapovaných závitů [7]

- hrubovací
 - stupeň přesnosti IT3 až IT5
 - drsnost povrchu R_a 0,16 až 0,4 μm
- jemné
 - stupeň přesnosti IT1 až IT3
 - drsnost povrchu R_a 0,08 až 0,16 μm
- velmi jemné
 - stupeň přesnosti IT01 až IT1
 - drsnost povrchu R_a 0,01 až 0,04 μm



Obr 2.13 Schéma řezného procesu při lapování [7]

3 EKONOMICKÉ POSOUZENÍ METOD OBRÁBĚNÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ

Při návrhu způsobu výroby závitu je potřeba zvážit především to, v jakém počtu a kvalitě budou dané závity vyráběny. Zdali se bude vyrábět pouze několik kusů nebo se bude jednat o sériovou či hromadnou výrobu. Podle těchto parametrů se určí vhodná technologie výroby.

Celkové výrobní náklady na 1 kus N_c se určí jako součet dílčích nákladů [4]

$$N_c = N_s + N_N + N_V \quad [Kč] \quad (3.1)$$

kde:

N_s [Kč] – náklady na strojní práci

N_N [Kč] – náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na 1 obrobený kus

N_V [Kč] – náklady na vedlejší práci

3.1 Náklady na strojní práci

Náklady na strojní práci jsou závislé na strojním čase t_{AS} , což je čas automatického chodu stroje a na minutové sazbě stroje N_{sm} . Tuto závislost můžeme vyjádřit vztahem [4]

$$N_s = t_{AS} \cdot N_{sm} \quad [Kč] \quad (3.2)$$

kde strojní čas je [4]

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n_o \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (3.3)$$

L [mm] – celková dráha nástroje ve směru posuvu

v_f [mm min⁻¹] – posuvová rychlost

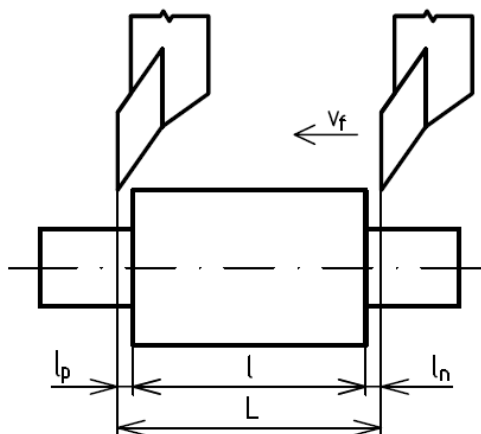
l_n [mm] – délka náběhu ve směru posuvu

l [mm] – délka obráběného závitu ve směru posuvu

l_p [mm] – délka přeběhu ve směru posuvu

n_o [mm] – otáčky obrobku

f [mm] – posuv nástroje na jednu otáčku obrobku



Obr 3.1 Stanovení jednotkového strojního času [4]

Strojní čas je u každé metody výroby závitu jiný. Je to dáno především různou dráhou nástroje, kterou musí urazit při výrobě závitu a posuvovou rychlostí. U soustružení závitu je dráha nástroje největší, neboť závit je zpravidla nutno řezat na více průchodů nástroje. Naopak u řezání závitu závitníkem je kratší dráha nástroje z důvodu menšího počtu průchodů nástroje, avšak je zde menší posuvová rychlost.

Minutová sazba stroje jsou náklady na jednu minutu provozu stroje. Patří mezi ně především pořizovací cena stroje a náklady na jeho provoz (spotřebovaná energie, řezné kapaliny atd.). U CNC obráběcích center je tato hodnota řádově vyšší než u běžného hrotového soustruhu. Určíme ji jako [4]

$$N_{sm} = \frac{N_{sn}}{60} \text{ [Kč]} \quad (3.4)$$

N_{sn} [Kč] – hodinová sazba stroje

3.2 Náklady na nástroj

Jedná se o pořizovací náklady na jednotlivé nástroje. Při používání monolitních nástrojů je nutná po hraničním opotřebení nástroje jeho celková výměna. Naopak u nástrojů s VBD postačí nahradit opotřebovanou destičku.

Výše nákladů na nástroj je závislá především na jeho trvanlivosti. Trvanlivost nástroje udává dobu, za kterou dojde k opotřebení břitu nástroje při daných řezných podmínkách (obr 3.2) a je potřeba jeho výměna. Cílem je dosáhnout co nejnižších výrobních nákladů, což závisí především na volbě optimálního nástroje.

Náklady na nástroj na výrobu jednoho závitu N_N jsou dány poměrem nákladů na výměnu nástroje a počtem kusů obrobených tímto nástrojem [4]

$$N_N = \frac{N_T}{Q_T} \text{ [Kč]} \quad (3.5)$$

Náklady na jednu výměnu nástroje s vyměnitelnou břitovou destičkou lze vyjádřit [4]

$$N_T = \frac{N_1}{n_B} + \frac{N_2}{z} + N_3 \text{ [Kč]} \quad (3.6)$$

N_1 [Kč] – pořizovací cena VBD

n_B – počet břitů VBD

N_2 [Kč] – pořizovací cena držáku destičky

z [ks] – životnost držáku destičky vyjádřena v počtu VBD

N_3 [Kč] – náklady na upnutí a seřízení VBD

Počet obrobených kusů během trvanlivosti T jednoho nástroje lze spočítat [4]

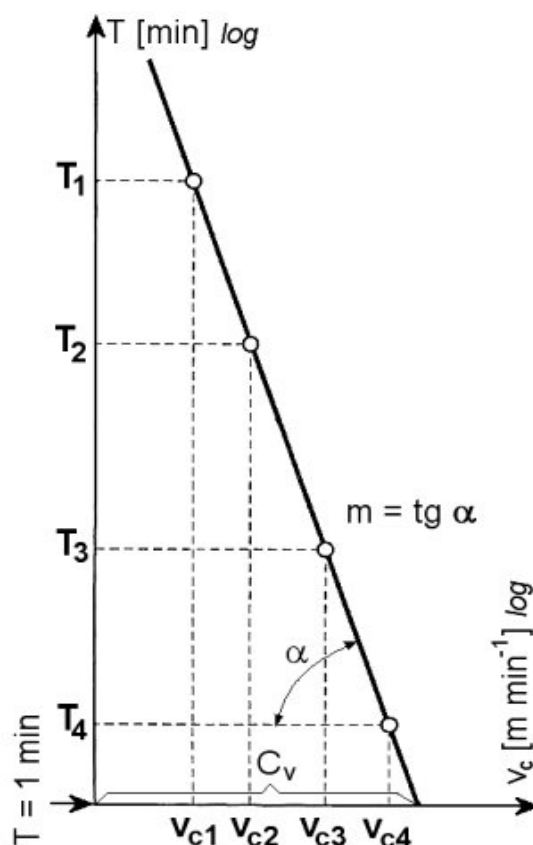
$$Q_T = \frac{T \cdot n_B}{\lambda \cdot t_{AS}} \text{ [ks]} \quad (3.7)$$

Optimální trvanlivost řezného nástroje pro minimální výrobní náklady je poté možno vyjádřit ve tvaru [4]

$$T_{opt1} = (m-1) \cdot \lambda \cdot \frac{N_T}{N_{sm}} [\text{min}] \quad (3.8)$$

λ [-] – poměr délky obráběného závitu a dráhy nástroje

m [-] – exponent charakterizující vlastnosti řezného nástroje



Obr 3.2 Závislost trvanlivosti nástroje na řezné rychlosti [5]

3.3 Náklady na vedlejší práci

Jsou to náklady, které přímo nesouvisí s výrobou závitu, ale jsou pro celkové náklady také důležité. Patří zde například manipulace s materiálem, seřízení stroje, režie dílny a další. Náklady na vedlejší práci lze vyjádřit [4]

$$N_V = t_{AV} \cdot N_{Vm} [Kč] \quad (3.9)$$

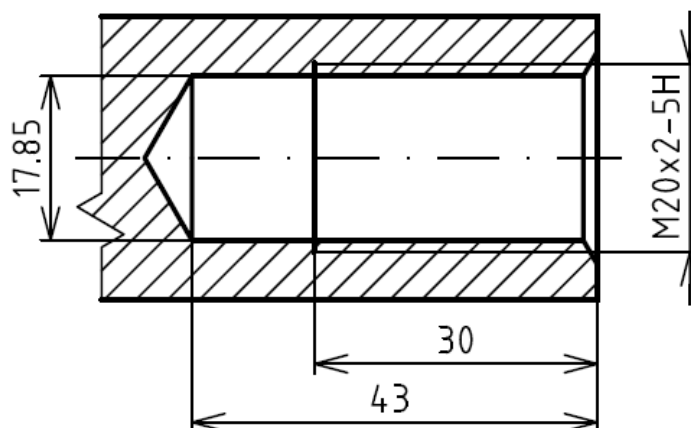
kde t_{AV} je čas potřebný k provedení vedlejších prací a N_{Vm} je minutová sazba na vedlejší práce, kterou určíme z hodinové sazby na vedlejší práce D_V a je dána mzdovým tarifem dělníka vykonávajícího vedlejší práci M a reží dílny R_V [4]

$$N_{Vm} = \frac{D_V}{60} = M \cdot \left(1 + \frac{R_V}{100}\right) \cdot \frac{1}{60} [Kč] \quad (3.10)$$

3.4 Náklady na výrobu závitu M20

Konkrétní náklady na výrobu jednoho vnitřního závitu M20x2 délky 30 mm hřídeli (obr 3.2) z oceli 11600 pomocí univerzálního hrotového soustruhu a soustružnického nože s VBD.

Pro výpočet konkrétních nákladů bylo nutné zvolit si konkrétní způsob výroby, řezné podmínky, použitý nástroj (typ, pořizovací náklady, trvanlivost) a hodinové sazby na strojní i vedlejší práci.



Obr. 3.3 Soustružený závit M20x2 délky 30 mm

Náklady na strojní práci

$l = 30 \text{ mm}$

$l_n = 3 \text{ mm}$

$l_p = 0 \text{ mm}$

$N_{sn} = 600 \text{ Kč}$

Řezné podmínky – hrubování:

$n_o = 640 \text{ min}^{-1}$

$f = 1,5 \text{ mm}$

$i_z = 5$

Řezné podmínky – dokončování:

$n_o = 685 \text{ min}^{-1}$

$f = 1,5 \text{ mm}$

$i_z = 4$

Hrubovací strojní čas:

$$t_{ASh} = \frac{L \cdot i_z}{v_f} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot 5}{n_o \cdot f} = \frac{(3 + 30 + 0) \cdot 5}{640 \cdot 1,5} = \underline{\underline{0,172 \text{ min}}}$$

Dokončovací strojní čas:

$$t_{ASd} = \frac{L \cdot i_z}{v_f} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot 4}{n_o \cdot f} = \frac{(3 + 30 + 0) \cdot 4}{685 \cdot 1,5} = \underline{\underline{0,128 \text{ min}}}$$

Celkový strojní čas:

$$t_{AS} = t_{ASh} + t_{ASd} = 0,172 + 0,128 = \underline{\underline{0,3 \text{ min}}}$$

Minutová sazba stroje:

$$N_{sm} = \frac{N_{sn}}{60} = \frac{600}{60} = \underline{\underline{10 \text{ Kč}}}$$

Náklady na strojní práci pro výrobu jednoho závitu:

$$N_s = t_{AS} \cdot N_{sm} = 0,3 \cdot 10 = \underline{\underline{3 \text{ Kč}}}$$

Náklady na nástroj

Použitý nástroj: soustružnický nůž s VBD firmy Pramet Tools
 držák: SIR 0013 M 11-1
 VBD: TN 11NR200M
 trvanlivost bříty T = 30 minut

$$N_1 = 400 \text{ Kč}$$

$$N_2 = 2300 \text{ Kč}$$

$$N_3 = 150 \text{ Kč}$$

$$n_B = 3$$

$$z = 50 \text{ ks}$$

Náklady na jednu výměnu nástroje:

$$N_T = \frac{N_1}{n_B} + \frac{N_2}{z} + N_3 = \frac{400}{3} + \frac{2300}{50} + 150 = \underline{\underline{330 \text{ Kč}}}$$

Počet obrobených kusů během trvanlivosti VBD

$$Q_T = \frac{T \cdot n_B}{\lambda \cdot t_{AS}} = \frac{30 \cdot 3}{\frac{30}{33} \cdot 0,3} = \underline{\underline{330 \text{ ks}}}$$

Náklady na výrobu jednoho závitu

$$N_N = \frac{N_T}{Q_T} = \frac{330}{330} = \underline{\underline{1 \text{ Kč}}}$$

Náklady na vedlejší práci

$$t_{AV} = 1 \text{ min}$$

$$D_V = 300 \text{ Kč}$$

$$N_V = t_{AV} \cdot N_{Vm} = t_{AV} \cdot \frac{D_V}{60} = 1 \cdot \frac{300}{60} = \underline{\underline{5 \text{ Kč}}}$$

Celkové náklady na výrobu jednoho závitu M20 délky 30 mm

$$N_c = N_s + N_N + N_V = 3 + 1 + 5 = \underline{\underline{9 \text{ Kč}}}$$

ZÁVĚR

Výroba vnitřních závitů ve strojírenství je velice zajímavé téma, neboť se s nimi setkáváme v každodenním životě. Hlavním úkolem této práce bylo teoreticky rozebrat jednotlivé metody třískového obrábění vnitřních závitů.

Úvodní kapitola se zabývá závitem jako technologickým prvkem. Je zde uveden způsob vzniku závitu, popis jeho částí, jeho použití a rozdělení podle jeho důležitých parametrů. Dále jsem se zaměřil a jednotlivé druhy závitů, se kterými se můžeme v běžném životě setkat. Je zde uveden jejich popis, použití a příklad jejich značení ve strojírenské praxi.

Nedílnou součástí při výrobě závitů je i jejich kontrola, protože parametry závitu se mohou změnit, například při opotřebení nástroje nebo volbou nesprávné metody výroby. Z tohoto důvodu jsou v práci uvedeny nejčastější kontroly, které se u závitů provádějí a zjišťujeme s jejich pomocí přesné hodnoty měřených parametrů.

Hlavní část práce pojednává o jednotlivých metodách výroby vnitřních závitů třískovým obráběním. Jsou zde uvedeny nejčastější způsoby výroby běžných vnitřních závitů, mezi něž patří ruční i strojní řezání závitu závitníkem, soustružení a frézování. Pro výrobu velmi přesných závitů, určených především pro měřicí techniku a kalibry se používají metody broušení a lapování. U každé metody je uveden její princip, jednotlivé technologie výroby danou metodou, používané nástroje a informativní údaj o dosahované přesnosti a drsnosti povrchu vyráběného závitu.

Závěrečná kapitola pojednává o ekonomických nákladech, které musíme zahrnout do výroby závitů. Mezi hlavní náklady patří náklady na strojní práci, náklady na nástroj a jeho výměnu a náklady na vedlejší práci. Výše nákladů je závislá na množství vyrobených závitů a použité technologii.

Jelikož v literatuře nalezneme pouze obecné informace, stanovil jsem konkrétní náklady na výrobu jednoho vnitřního závitu M20X2 délky 30 mm na univerzálním hrotovém soustruhu s použitím soustružnického nože s VBD. Zvolil jsem si řezné podmínky a náklady na hodinu strojní i vedlejší práce a konkrétní nástroj. Použil jsem nástroj firmy Pramet Tools složený z držáku SIR 0013 M 11-1 a destičky TN 11NR200M při trvanlivosti bříty 30 minut. Náklady na strojní práci jsou při použití zvolených řezných podmínek 1 Kč, náklady na nástroj jsou 3 Kč a náklady na vedlejší práci jsou 5 Kč. Celkové náklady na výrobu jednoho zvoleného závitu M20 se tedy vyšplhaly na 9 Kč.

Dnešní výroba se uchyluje především k používání CNC obráběcích strojů, neboť i přes jejich několikanásobně vyšší pořizovací cenu jsou konečné náklady na vyráběný kus nižší z důvodu vyšší produktivity výroby. Další úsporu při použití CNC strojů jsou náklady na mzdy dělníků, protože jeden člověk může současně ovládat více zařízení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. VESELOVSKÝ, Ján. *Závity v technickej dokumentácii – přednáška*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. STU v Bratislavě, Katedra mechaniky, 2006. 38s. Dostupné na World Wide Web: <<http://aladin.elf.stuba.sk/Katedry/KMECH/slovakversion/Predmety/UI/prezentacie/Zavity.pdf>>
2. KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Druhé vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., prosinec 2005. 271 s. ISBN 80-214-3068-0.
3. SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; PROKEŠ, František. *Základy konstruování*. Vydání první. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. 203 s. ISBN 978-80-7204-535-8.
4. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. První vydání. BRNO: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-3274-9
5. HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf>.
6. HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 2. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 95 s. Dostupné na World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf>.
7. HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 3. část*. [online]. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 57 s. Dostupné z World Wide Web: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf>.
8. KŘÍŽ, Rudolf; VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka – 7. svazek*. První vydání. PRAHA: Nakladatelství SCIENTIA, s.r.o., 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0
9. TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část 1*. [online]. Studijní literatura. VŠB v Ostravě, Katedra obrábění a montáže, 2004. 110s. Dostupné na World Wide Web: <www.346.vsb.cz/346.vsb.cz/STROJIRENSKA%20METROLOGIE-1.díl.pdf>
10. LINKEOVÁ, Ivana; NOVÁK, František. *Výkresová dokumentace elektromechanických prvků a spojů*. [online]. Studijní opory. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2004. 44s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.linkeova.cz/skripta/pdf/06_spoje.pdf>
11. CRS tools s.r.o. [online]. 2008. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.crstools.cz/zavitovani/>>

12. PRAMET TOOLS s.r.o. [online]. 2010. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202010%20CZ%20prog.pdf>>
13. MAISTER PRODEJ NÁŘADÍ s.r.o. [online]. 2009. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.zavitnik.cz/>>
14. VESPOS s.r.o. [online]. 2008. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.vespos.cz/technicke-informace.php>>
15. MOODING.CZ [online]. 2008. Dostupné na World Wide Web: < <http://www.modding.cz/?p=52>>
16. LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Čtvrté doplněné vydání. ÚVALY: Pedagogické nakladatelství ALBRA, 2008. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>Zkratka/symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
c1	[mm]	seříznutí závitu matice
c2	[mm]	seříznutí závitu šroubu
d	[mm]	velký průměr závitu šroubu
d2	[mm]	střední průměr závitu šroubu
d3	[mm]	malý průměr závitu šroubu
d _d	[mm]	průměr drátku
D	[mm]	velký průměr závitu matice
D1	[mm]	malý průměr závitu matice
D2	[mm]	střední průměr závitu matice
D _V	[Kč]	hodinová sazba na vedlejší práce
f	[mm]	posuv nástroje na jednu otáčku obrobku
h3	[mm]	výška závitu šroubu
H	[mm]	výška základního trojúhelníku
H1	[mm]	nosná výška závitu
H4	[mm]	výška závitu matice
i	[-]	celkový převod
i _k	[-]	převod výměnnými ozubenými koly z ₁ až z ₄
i _p	[-]	převod posuvové převodovky
i _z	[-]	počet záběrů nástroje
IT	[-]	stupeň přesnosti
k1	[-]	korekce, která zohledňuje úhel stoupání šroubovice (1÷2 μm)
k2	[-]	korekce, která zohledňuje měřicí tlak
l	[mm]	délka obráběného závitu ve směru posuvu
l _n	[mm]	délka náběhu ve směru posuvu
l _p	[mm]	délka přeběhu ve směru posuvu
L	[mm]	celková dráha nástroje ve směru posuvu
m	[-]	exponent charakterizující vlastnosti rezného nástroje
M	[-]	mzdový tarif dělníka
Md ₂	[mm]	průměr přes drátky
n _B	[-]	počet břitů VBD
n _{ch}	[-]	počet chodů závitu
n _o	[min ⁻¹]	otáčky obrobku
n _š	[min ⁻¹]	otáčky vodicího šroubu
N ₁	[Kč]	cena VBD
N ₂	[Kč]	cena držáku destičky

N_3	[Kč]	náklady na upnutí a seřízení VBD
N_C	[Kč]	celkové operační výrobní náklady na 1 kus
N_N	[Kč]	náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na 1 obrobený kus
N_s	[Kč]	náklady na strojní práci
N_{sm}	[Kč]	minutová sazba stroje
N_{sn}	[Kč]	hodinová sazba stroje
N_V	[Kč]	náklady na vedlejší práci
N_{Vm}	[Kč]	minutová sazba na vedlejší práce
N_T	[Kč]	náklady na jednu výměnu nástroje s VBD
P	[mm]	rozteč závitu
Ph	[mm]	stoupání závitu
Q_T	[ks]	počet obrobených kusů během trvanlivosti nástroje
R	[mm]	poloměr zaoblení
R_V	[mm]	režie dílny pro vedlejší práci
R_a	[μ m]	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
s_o	[mm]	stoupání závitu obrobku
s_s	[min ⁻¹]	stoupání závitu vodicího šroubu
t_{AS}	[min]	strojní čas
t_{AV}	[min]	čas potřebný na vedlejší práce
T	[min]	trvanlivost nástroje
T_{opt1}	[min]	optimální trvanlivost nástroje vzhledem k minimálním výrobním nákladům
v_f	[mm min ⁻¹]	posuvová rychlost
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
z	[ks]	životnost držáku destičky vyjádřena v počtu VBD
α	[°]	úhel profilu závitu
β, γ	[°]	úhly boků závitu
λ	[-]	poměr délky obráběného závitu a dráhy nástroje ve směru posuvu
ψ	[°]	úhel stoupání závitu